

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	可変形状衛星によるフォーメーションフライングのための自己遮蔽を考慮した宇宙環境力モデリングと軌道制御手法
Title(English)	Shadow-Aware Space Environment Force Modeling and Orbit Control Method for Formation Flying by Variable Shape Satellites
著者(和文)	喜多村章悟
Author(English)	Shogo Kitamura
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12844号, 授与年月日:2024年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:中西 洋喜,遠藤 玄,岡田 昌史,坂本 啓,山浦 弘
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12844号, Conferred date:2024/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	喜多村 章悟	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	中西 洋喜	准教授	坂本 啓	教授
	審査員	遠藤 玄	教授	審査員	山浦 弘
岡田 昌史		教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「可変形状衛星によるフォーメーションフライングのための自己遮蔽を考慮した宇宙環境力モデリングと軌道制御手法」と題し、以下の7章から構成されている。

第1章「序論」では、研究の背景と目的を述べている。近年需要が拡大している人工衛星のフォーメーションフライングに関し、衛星の姿勢・形状の適切な変更による宇宙環境力(空力、太陽輻射圧)を用いた推進剤を必要としない軌道制御に着目し、衛星が太陽電池パドル等を備える場合、衛星に向かう気体粒子や光子の一部が遮られる自己遮蔽が生じ、軌道制御性能の低下が懸念されるが、自己遮蔽のモデリングは計算コストが高いため、フォーメーションフライング制御法の先行研究はいずれも自己遮蔽を無視していることを指摘している。そこで、軌道上でのリアルタイム計算が可能な自己遮蔽の効果を含む宇宙環境力のモデリング手法と、これを用いた軌道制御手法および適用範囲を明らかにし、数値シミュレーションによって手法の検証および有効性評価を行うことが本論文の目的であると述べている。

第2章「衛星モデルと座標系」では、本研究が対象とする自己遮蔽が発生する衛星形状について説明し、制御対象例として使用する可変形状衛星ひばりの運動学および動力学モデルの概要、各種計算に使用する座標系(慣性座標系・軌道座標系・衛星座標系)、衛星の姿勢と形状の表現方法についてそれぞれ説明し、次章以降に述べるモデリングおよび制御方法の基礎としている。

第3章「宇宙環境力モデル」では、宇宙環境力である空力と太陽輻射圧のモデリング手法について述べている。自己遮蔽を考慮可能なレイトレーシングを用いた従来モデルについて説明し、このモデルを用いた数値シミュレーションにより、自己遮蔽を考慮する場合としない場合とで宇宙環境力に無視できない差が生じることを確認するとともに、衛星内の限られた計算リソースにとって、従来モデルは計算コストが高いことを指摘している。これらの課題に対し、自己遮蔽を考慮しない低計算コストの宇宙環境力モデルと自己遮蔽を推定するニューラルネットワークを連結した新たなモデリング手法を提案し、本モデルにより、従来比1/11の計算コストで良好な宇宙環境力推定性能が得られることを示している。

第4章「フォーメーション制御則」では、フォーメーションフライングのため副衛星が主副衛星間の相対軌道を、宇宙環境力を用いて制御する手法を提案している。提案手法は、制御加速度の算出とこれを宇宙環境力により実現するための衛星姿勢・形状の算出から構成されている。前者については、主副衛星の平均軌道要素の差を所定の目標値に近づけるためのフィードバック制御則を基に、ゲイン設計と遷移軌道の設計についての工夫を行うことにより、制御力が微小であるという制約下においても制御効率と安定性を高められること示している。後者については、提案宇宙環境力モデルから逆問題を解くことにより衛星の姿勢・形状の算出を行うが、自由度の高い可変形状衛星では解が一意に定まらないため、衛星の機械的制約を考慮した最適化問題を逐次的に解くことにより姿勢・形状を算出し、適切な宇宙環境力を得る手法を提案している。

第5章「数値シミュレーション」では、宇宙環境を模擬した数値シミュレータを用い、複数の軌道条件に対して実行したシミュレーションの結果について述べている。自己遮蔽を考慮しない手法では軌道の発散が見られた一方、自己遮蔽を考慮した提案手法では安定な制御を実現し、位置誤差も1/2以下に抑制できていることを示すことで、提案手法は自己遮蔽による軌道制御性能の低下の解決に有効であると述べている。

第6章「フォーメーションフライング成立の条件検討」では、宇宙環境力によるフォーメーションフライングを活用した具体的なミッション計画の策定に向け、ミッションの成否と軌道条件の関係性を把握するための指標を提案している。具体的には、フォーメーション維持の必要条件として主副衛星に作用する主要な摂動(地球扁平性による重力の摂動)の影響を宇宙環境力により相殺する可能性を指標化している。ひばり衛星モデルを使用し、本指標を用いて軌道条件の網羅的な調査を行った結果、軌道要素および分離距離に関する必要条件を得ている。

第7章「結論」では、本研究を総括するとともに、今後の課題を述べている。

以上を要するに、本論文は、可変形状衛星によるフォーメーションフライングのための自己遮蔽を考慮した宇宙環境力モデリングと軌道制御手法を提案し、数値シミュレーションを通じてその有効性と適用範囲を明らかにしており、工学上および工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値があるものと認められる。